

Tomasz Tomaszewski, Janusz Sempruch

e-mail: tomaszewski@utp.edu.pl

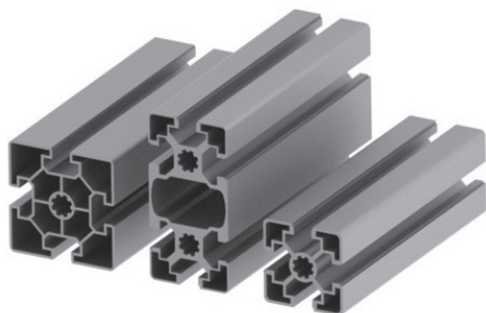
Zakład Metod Komputerowych, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Metodyka badań zmęczeniowych z wykorzystaniem minipróbek – stanowisko, próbki, obciążenia i weryfikacja dla stopu EN AW-6063

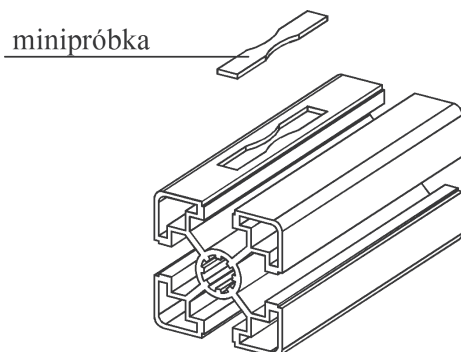
Wstęp

Zapotrzebowanie rynku na nowe produkty, charakteryzujące się wysoką niezawodnością, niską masą i często złożonym kształtem, stwarza zapotrzebowanie na metodę weryfikującą własności mechaniczne wyznaczone w przyspieszonym tempie (*on-line* w stosunku do procesu projektowego i technologicznego). Wymusza to konieczność określenia np. własności zmęczeniowych produktu przez badania na stanowiskach, których są koszty są osiągalne dla małych i średnich producentów.

Wyznaczenie charakterystyki zmęczeniowej w oparciu o normy (definiowane wymiary i kształt próbek) powoduje ograniczenia realizacji badań na obiektach, z których pobranie próbek normatywnych jest po prostu niemożliwe (zbyt mała objętość dostępnego materiału). Jest to spowodowane m. in. kształtem elementów maszyn podyktowanym wymiarowaniem ze względu na sztywność (cienkie, geometrycznie rozwinięte ścianki), a nie na wytrzymałość. Przykładem są profile kształtowe (Rys. 1) produkowane ze stopu aluminium EN AW-6063 wykonywane w procesie wyciskania materiału przez matrycę. W wyniku dużych odkształceń plastycznych towarzyszących procesowi następuje zmiana własności wytrzymałościowych i cyklicznych prefabrykatu. Określenie rzeczywistej trwałości zmęczeniowej jest możliwe tylko w przypadku prowadzenia badań na próbkach pobranych z gotowych elementów. Proponowanym w niniejszej pracy rozwiązaniem jest zmniejszenie próbek, których wielkość umożliwi ich bezproblemowe (pod względem wymiarowym) pobranie z badanych obiektów (Rys. 2). Wymiary próbki mniejszej powinny zapewnić wiarygodne określenie własności materiałowych. Oznacza to, że wymiary części pomiarowej próbki powinny być na tyle duże aby badana objętość była reprezentatywna (tzn. uwzględniająca losowy rozkład lokalnych własności wytrzymałościowych).



Rys. 1. Przykładowe obiekty badań

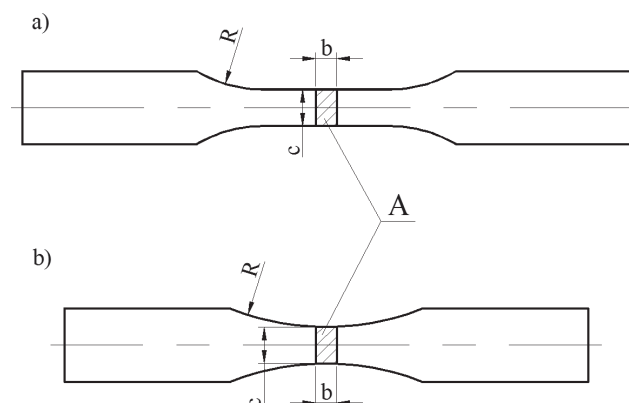


Rys. 2. Schemat pobierania próbek

Celem pracy jest zaproponowanie metodyki badań zmęczeniowych stosujących próbkę o wymiarach mniejszych od normatywnych (nazywaną w dalszym toku pracy minipróbką). Hipotezą niniejszej pracy jest stwierdzenie, że możliwa jest satysfakcjonująca weryfikacja własności zmęczeniowych przeprowadzona w oparciu o minipróbkę.

Geometria próbek

Badania zmęczeniowe realizowane w warunkach laboratoryjnych, najczęściej prowadzone są w oparciu o próbki normatywne [Lee i in., 2005] charakteryzujące się określonym polem przekroju (A) i promieniem (R). Zestawienie geometrii próbek płaskich o stałym i zmiennym przekroju zgodnych z normami [ASTM E466, PN-74/H-04327, PN-EN 3987:2010] przedstawiono na rys. 3. Szczegółowe wytyczne dotyczące wymiarów zamieszczono w tab. 1. Przytoczone wartości determinują pola przekroju próbek, które mieszczą się w zakresie od około 20 do 650 mm² [ASTM E466, PN-74/H-04327; PN-EN 3987:2010].



Rys. 3. Próbkę płaską do badań zmęczeniowych: a) o stałym przekroju, b) o zmiennym przekroju

Tab. 1. Zestawienie zakresów wymiarów próbek normatywnych

[PN-74/H-04327]		
b [mm]	c [mm]	$R = 2c$ [mm]
do 3	$10b$	$20b$
powyżej 3 do 5	$5b$	$10b$
5	10	20
7,5	15	30
10	20	40
[PN-EN 3987:2010]		
$b > 3$	$c > b > 5$	$6c \leq R \leq 8c$
[ASTM E-466]		
-	$b(2+6)$	$8c$

Badania zmęczenia wysokocyklowego

Program badań weryfikujący poprawność proponowanej metodyki badań zakłada wyznaczenie pełnej charakterystyki zmęczeniowej $\sigma_a - N$ z wykorzystaniem próbki normatywnej i minipróbki. Na metodykę badań składa się określenie materiału próbki, własności wytrzymałościowe materiału, geometrii badanych próbek, zakresu stosowanych naprężeń w zakresie wytrzymałości wysokocyklowej i pozostałe warunki badań zmęczeniowych (stanowisko badawcze, częstotliwość, współ-

czynnik asymetrii cykli). Szczegóły proponowanej metodyki opisano poniżej.

Własności monotoniczne

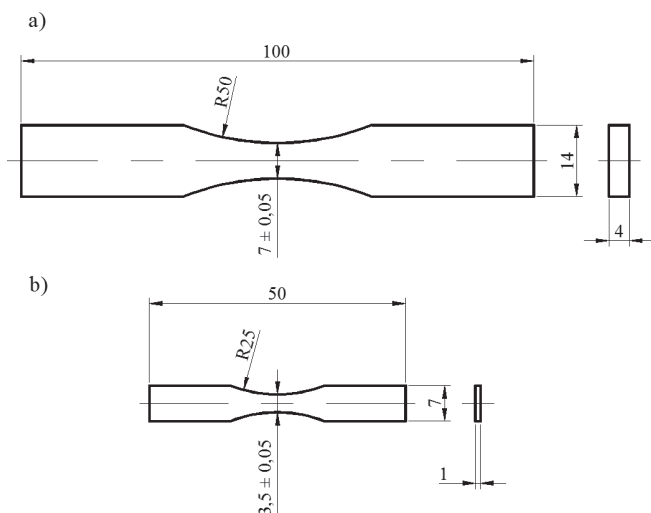
Badanym materiałem był stop aluminium EN AW-6063 w postaci płaskowników o grubości próbki. Własności wytrzymałościowe wyznaczono w statycznej próbie rozciągania zgodnie z [PN-EN ISO 6892-1:2010] dla próbek normatywnych (przekrój roboczy – 28 mm²) i minipróbki (przekrój roboczy 3,5 mm²). Relacja przekroju próbki normatywnej do mniejszej wynosi 8. Zgodnie z wieloma publikowanymi wynikami badań i normatywnymi zaleceniami, można przyjąć, że miniprobka kwalifikuje się do grupy próbek o małym przekroju. Uzyskane wyniki (Tab. 2) potwierdziły zależność własności wytrzymałościowych od pola przekroju badanego stopu aluminium [Tomaszewski i in., 2012].

Tab. 2. Wyniki z próby statycznego rozciągania

Próbka normatywna				Miniprobka			
R _m , MPa	R _e , MPa	A, %	Z, %	R _m , MPa	R _e , MPa	A, %	Z, %
200	167	16,6	61,2	230	208	10,8	53,0

Próbki do badań zmęczeniowych

Badania zmęczenia wysokocyklowego zrealizowano stosując próbkę normatywną i minipróbkę (Rys. 4). Próbki charakteryzują się podobieństwem geometrycznym i jednakowym współczynnikiem kształtu α_k = 1,05. Technologia wykonywania próbek sprowadzała się do obrabiania w pakietach, w procesie obróbki skrawaniem (frezowanie) powierzchni bocznych. Powierzchnia po obróbce nie była szlifowana ani polerowana.



Rys. 4. Geometria próbek do badań zmęczeniowych: a) normatywna, b) miniprobka

Warunki badań

Badania zmęczeniowe przeprowadzono w zakresie od 10⁵ do 2·10⁶ cykli. Górny zakres poziomu naprężenia określono na podstawie wyników badań próbek wstępnie odkształconych cyklicznie (próbka normatywna – 180 MPa, miniprobka – 210 MPa) [Tomaszewski i Sempruch, 2012]. Ze względu na wyobczenie się próbek zastosowano obciążenia sinusoidalne odzerowo tętniące (R = 0,1). Częstotliwość zmiany obciążenia próbki była równa 5 Hz. Statyczną próbę rozciągania i badania zmęczeniowe przeprowadzono na serwohydraulicznej maszynie wytrzymałościowej Instron 8874.

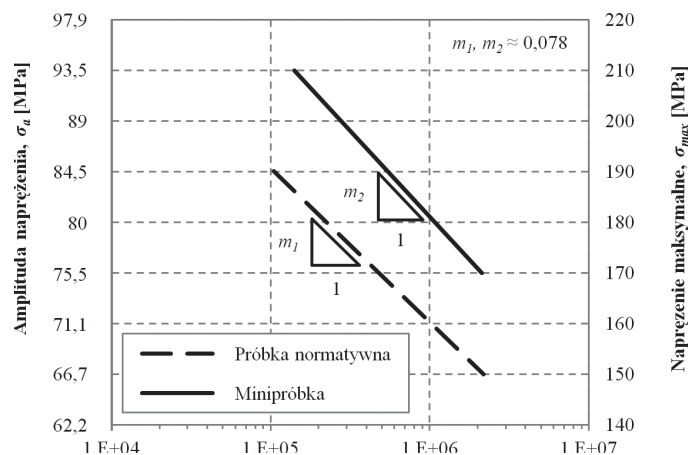
Wyniki

Na podstawie prób zmęczeniowych z kontrolowanym naprężeniem możliwe było wyznaczenie wykresu zmęczeniowego σ_a – N w zakresie wysokocyklowego zmęczenia dla próbki normatywnej i minipróbki. Na rys. 5 zestawiono proste regresji dla obydwu geometrii próbek. Wyniki opisano równaniem [Greń, 1978]:

$$\log \sigma_a = m \log N + b \tag{1}$$

– które dla próbki normatywnej ma postać:

$$\log \sigma_a = -0,078 \log N + 2,31 \tag{2}$$



Rys. 5. Zestawienie charakterystyk σ_a – N

– a dla minipróbki:

$$\log \sigma_a = -0,078 \log N + 2,37 \tag{3}$$

Uzyskane charakterystyki są równoległe. Wartości współczynnika kierunkowego (m) są na poziomie 0,078. Nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o równości wartości wykładnika m (test równoległości). Jako miarę dopasowania modelu regresji zastosowano współczynnik determinacji R².

Podsumowanie i wnioski

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania wyników badań zmęczeniowych prowadzonych z użyciem minipróbek. Zaproponowane ukształtowanie próbek charakteryzowało się podobieństwem geometrii i technologii wykonania w celu wyeliminowania wpływu zewnętrznych czynników na uzyskane wartości.

Stosunek wytrzymałości zmęczeniowej próbki normatywnej i minipróbki jest stały i równy 1,13 (Rys. 5). Mieści się na akceptowalnym poziomie. Podkreślić należy, że w modelach obliczeniowych trwałości zmęczeniowej istotna jest wielkość wykładnika m, który dla uzyskanych prostych regresji jest identyczny. Wysoka zgodność wykładnika m jest bez wątpienia wynikiem bardzo pozytywnym, jednak wymaga dalszej weryfikacji dla innych materiałów.

Wyniki badań opisano prostą regresji o współczynniku determinacji 0,97 dla próbki normatywnej i 0,93 dla minipróbki. Większa objętość próbki zapewnia lepsze uwzględnienie wpływu struktury materiału, co daje mniejszy rozrzut wyników i lepsze dopasowanie modelu regresji. Niemniej jednak współczynnik determinacji otrzymany powyżej wartości 0,9 świadczy korzystnie o jakości i powtarzalności wyników, co sugeruje poprawność proponowanej metodyki badań.

LITERATURA

Greń J., 1978, *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*. PWN, Warszawa
 Lee Y., Pan J., Hathaway R. B., Barkey M. E., 2005. *Fatigue Testing and Analysis. Theory and Practice*, University of Alabama, Elsevier
 ASTM E466, *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*
 PN-74/H-04327. *Badanie metali na zmęczenie. Próba osiowego rozciągania – ściskania przy stałym cyklu obciążen zewnętrznych*
 PN-EN 3987:2010. *Lotnictwo i kosmonautyka – Metody badań materiałów metalowych – Próba zmęczeniowa o dużej liczbie cykli ze stałą amplitudą kontrolowanego obciążenia*
 PN-EN ISO 6892-1:2010. *Metale – Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej*
 Tomaszewski T., Sempruch J., 2012a. Determination of the fatigue properties of aluminum alloy using mini specimen, *Materials Science Forum*, **726**, 63-68. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.726.63
 Tomaszewski T., Sempruch J., Piątkowski T., 2012b. Investigating the size effect for the small-dimension specimens made from the EN AW-6063 aluminum alloy. *J. Polish CIMAC*, **7**, nr 3, 339-346